

Monitoring contamination level of filter, partic. for hydraulic fluids - in which signal is produced which correlates with quotient of two pressure differences and evaluating device produces signal to change filter when quotient reaches given value

Patent Number: DE4117422

Publication date: 1992-11-12

Inventor(s):

Applicant(s):

Requested Patent: DE4117422

Application Number: DE19914117422 19910528

Priority Number(s): DE19914117422 19910528

IPC Classification: B01D35/143

EC Classification: B01D35/143

Equivalents:

Abstract

The monitoring appts. has a row of dampers arrange din the fluid stream and has an appts. reacting to the pressure differentiate between the inlet and outlet side sof the filters to produce and display a signal from the quotients of both pressure differences.

The dampers are placed in the fluid stream behind the filter (claimed).

USE/ADVANTAGE - The appts. is used for monitoring the soiling degree of filter esp. for hydrualic fluid filters. The appts. gives high accuracy and repeatability of measurements.

Data supplied from the esp@cenet database - I2



⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Patentschrift
⑯ DE 41 17 422 C 1

⑯ Int. Cl. 5:
B 01 D 35/143

⑯ Aktenzeichen: P 41 17 422.4-27
⑯ Anmeldetag: 28. 5. 91
⑯ Offenlegungstag: —
⑯ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 12. 11. 92

DE 41 17 422 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑯ Patentinhaber:
Dettinger, Willi, Prof. Dr.-Ing., 7432 Bad Urach, DE

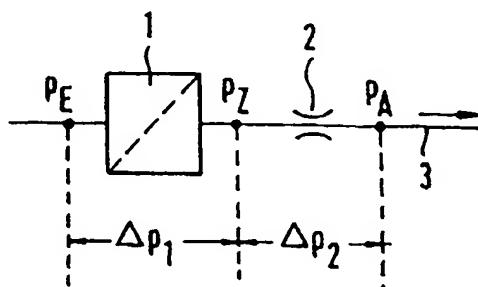
⑯ Erfinder:
gleich Patentinhaber

⑯ Vertreter:
Manitz, G., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Finsterwald, M.,
Dipl.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing., 8000 München;
Rotermund, H., Dipl.-Phys., 7000 Stuttgart; Heyn, H.,
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑯ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 24 04 452 C2

⑯ Vorrichtung zur Überwachung des Verschmutzungsgrades eines Filters

⑯ In Strömungsrichtung hinter dem Filter (1) ist eine Drossel
(2) angeordnet. Durch Messung der am Filter (1) sowie an
der Drossel (2) auftretenden Druckabfälle (Δp_1 , Δp_2) wird
dann der Verschmutzungsgrad bestimmt.



DE 41 17 422 C 1

1
Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Überwachung des Verschmutzungsgrades eines Filters für Fluide, insbesondere für Hydraulikmedien, mit einer in Reihe zu dem Filter im Fluidstrom angeordneten Drossel und mit einer Auswertevorrichtung, welche auf die Druckdifferenzen zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Filters sowie zwischen Eingangs- und Ausgangsseite der Drossel reagiert und ein mit einem Quotienten der beiden Druckdifferenzen korreliertes Signal erzeugt und anzeigt.

Aus der DE-PS 24 04 452 ist eine entsprechende Vorrichtung mit in Strömungsrichtung vor dem Filter angeordneter Drossel bekannt. Die von der Drossel und dem Filter verursachten Druckdifferenzen wirken auf ein Kolben- bzw. Membranaggregat ein, welches unter Federspannung steht und derart ausgebildet ist, daß die an der Drossel verursachte Druckdifferenz das Kolben- bzw. Membranaggregat in einer Richtung und die vom Filter verursachte Druckdifferenz das Kolben- bzw. Membranaggregat in entgegengesetzter Richtung zu schieben sucht, wobei die Federspannung je nach Verschieberichtung zu- bzw. abnimmt. Die Verschiebung des Kolben- bzw. Membranaggregates steuert eine Anzeige, welche gemäß der DE-PS 24 04 452 den Verschmutzungsgrad des Filters praktisch unabhängig von der jeweiligen Strömungsgeschwindigkeit und Viskosität des Fluides bzw. Hydraulikmediums wiedergeben soll.

In der Praxis vermag diese bekannte Anordnung jedoch die wünschenswerte Meßgenauigkeit nicht zu erfüllen.

Deshalb ist es Aufgabe der Erfindung, eine Vorrichtung zu schaffen, welche mit hoher Genauigkeit und guter Reproduzierbarkeit zu arbeiten gestattet.

Diese Aufgabe wird erfundungsgemäß bei einer Vorrichtung der eingangs angegebenen Art dadurch gelöst, daß die Drossel in Strömungsrichtung des Fluides hinter dem Filter angeordnet ist.

Diese verblüffend einfache Maßnahme hat bezüglich Meßgenauigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse außerordentlich große Auswirkungen.

Dies dürfte im wesentlichen darauf beruhen, daß die Drossel hinter dem Filter immer von gefiltertem und damit sauberem Medium durchströmt wird. Dementsprechend können sich an der Drossel weder kurzfristig noch längerfristig Ablagerungen bilden, die die fluidischen Wirkungen der Drossel erheblich verändern würden. Außerdem hat das die Drossel durchströmende gereinigte Medium eine weitestgehend gleichbleibende Viskosität. Jedenfalls werden jegliche Viskositätsänderungen aufgrund unterschiedlicher Schmutzbelastung vermieden.

Soweit durch mehr oder weniger große Schmutzfracht die Viskosität des dem Filter zugeführten Fluides bzw. Hydraulikmediums schwankt, kann dies auf die Meßgenauigkeit keinen nennenswerten Einfluß haben, weil üblicherweise die Filter so bemessen sind, d. h. einen Strömungsweg mit derart großem Gesamtquerschnitt aufweisen, daß die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb des Filters außerordentlich gering sind und Viskositätsänderungen des Fluides bzw. Hydraulikmediums auf den Gesamtwiderstand des Filters nur einen untergeordneten Einfluß ausüben können.

Aufgrund der erfundungsgemäßen Anordnung wird also der Wert des mit dem Verschmutzungsgrad korrelierten Quotienten zwischen dem von der Drossel verur-

2

sachten Druckabfall und dem vom Filter verursachten Druckabfall im Fluid bzw. Hydraulikmedium durch die Schmutzfracht im Medium auf der Eingangsseite des Filters praktisch nicht mehr beeinflußt.

5 Im Hinblick auf eine hohe Meßgenauigkeit ist des weiteren zweckmäßig, wenn der Drosselwiderstand des Strömungsweges zwischen Filter und Drossel vernachlässigbar bzw. gering ist im Vergleich zum Drosselwiderstand der Drossel.

10 Darüber hinaus sollten Filter und Drossel nahe be- nachbart zueinander angeordnet sein; des weiteren sollte die zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Filters auftretende Druckdifferenz zwischen dem Filter sehr nahe benachbarten Orten ermittelt werden.

15 Aufgrund dieser Bauweise läßt sich einerseits eine kompakte Anordnung erzielen, andererseits werden die Einflüsse der Leitungen für das Fluid bzw. Hydraulikmedium auf die Meßgenauigkeit minimiert.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß es 20 für eine gute Meßgenauigkeit völlig ausreichend ist, wenn der Drosselwiderstand der Drossel größtenteils 25 innerhalb des gesamten Strömungsweges des Fluides bzw. Hydraulikmediums bleibt also insgesamt sehr begrenzt und kann gegebenenfalls zumindest teilweise dadurch ausgeglichen werden, daß die Querschnitte der übrigen Strömungswägen für das Fluid bzw. Hydraulikmedium geringfügig vergrößert werden.

In besonders bevorzugter Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, daß die Auswertevorrichtung nach Eingang bzw. Erhalt eines bei Erneuerung des Filters erzeugten bzw. erzeugbaren Signales eine automatische Eichung ausführt, derart, daß der unmittelbar 30 bzw. kurz nach der Erneuerung des Filters ermittelte Anfangswert des Quotienten der von Drossel bzw. Filter verursachten Druckdifferenzen als Signal für ein sauberes Filter bzw. einen verschwindenden Verschmutzungsgrad auswertbar bzw. anzeigbar ist. Damit 35 braucht die Auswertevorrichtung vor Betriebsaufnahme weder an die Art des durch das Filter geleiteten Fluides bzw. Hydraulikmediums noch an die Bemessung des jeweiligen Filters angepaßt zu werden.

40 Um ein den maximal zulässigen Verschmutzungsgrad des Filters korrekt wiedergebendes Signal erzeugen zu können, braucht lediglich vorgesehen zu sein, daß dieses Signal erzeugt bzw. der das Filter durchsetzende Fluid- bzw. Hydraulikstrom abgeschaltet werden, sobald der 45 Istwert des Quotienten der von der Drossel und dem Filter verursachten Druckdifferenzen in einem vorgebaren Verhältnis zum Anfangswert des Quotienten unmittelbar nach der letzten Erneuerung des Filters steht.

50 Im übrigen wird hinsichtlich bevorzugter Merkmale 55 der Erfindung auf die Ansprüche und die nachfolgende Erläuterung vorteilhafter Ausführungsformen anhand der Zeichnung verwiesen. Dabei zeigt

Fig. 1 eine schematisierte, schaltplanmäßige Darstellung der Erfindung und

60 Fig. 2 eine vorteilhafte Ausführungsform in konstruktiver Darstellung, teilweise geschnitten.

65 Gemäß der Fig. 1 sind ein Filter 1 sowie eine Drossel 2 in Reihe hintereinander im Strömungsweg eines Hydraulikmediums angeordnet, welches dementsprechend zunächst das Filter 1 und sodann die Drossel 2 durchströmt. Das Filter 1 sowie die Drossel 2 sind dicht hintereinander angeordnet, so daß der Wert des Druckes pz auf der Ausgangsseite des Filters 1 mit dem Ein-

gangsdruck an der Drossel 2 übereinstimmt.

Am Eingang des Filters 1, am Ausgang des Filters 1 bzw. am Eingang der Drossel 2 sowie ausgangsseitig der Drossel 2 sind Druckmeßvorrichtungen angeordnet, mit denen die Druckdifferenzen Δp_1 sowie Δp_2 zwischen dem Eingangsdruck p_E des Filters 1 und dem Druck p_Z zwischen Filter 1 und Drossel 2 sowie zwischen dem letztgenannten Druck p_Z und dem Druck p_A auf der Ausgangsseite der Drossel 2 bestimmt werden können.

Für die Druckdifferenz Δp_1 gilt:

$$\Delta p_1 = a_1 v_1^2.$$

Hierbei ist v_1 die Strömungsgeschwindigkeit des Hydraulikmediums am Eingang des Filters 1, während a_1 einen von der Konstruktion sowie vom Verschmutzungsgrad des Filters abhängigen Formfaktor darstellt.

Für die Druckdifferenz Δp_2 gilt:

$$\Delta p_2 = a_2 v_2^2.$$

Hier ist v_2 die Strömungsgeschwindigkeit des Hydraulikmediums in der Drossel 2, während a_2 einen von der Konstruktion bzw. Form der Drossel 2 abhängigen Formfaktor darstellt.

Für die Strömungsgeschwindigkeit v_2 gilt:

$$v_2 = c v_1.$$

Hierbei ist c ein Proportionalitätsfaktor, welcher durch den Querschnitt des Einganges des Filters 1 einerseits und dem Querschnitt der Drossel 2 andererseits vorgegeben ist. Dies beruht auf der Tatsache, daß der Filter 1 und die Drossel 2 aufgrund der Reihenordnung von Filter 1 und Drossel 2 immer von gleich großen Strömen des Hydraulikmediums durchsetzt werden.

Damit ergibt sich für den Quotienten der Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 :

$$\Delta p_1 / \Delta p_2 = a_1 / a_2 c^2 = a_1 \cdot \text{const.}$$

Der genannte Quotient ist also proportional zu dem verschmutzungsabhängigen Formfaktor a_1 des Filters 1, so daß durch Messung der angegebenen Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 und Bildung eines Quotienten dieser Druckdifferenzen das Maß der Verschmutzung bestimmt werden kann.

Ein bestimmter Wert dieses Quotienten entspricht also in reproduzierbarer Weise einem bestimmten Verschmutzungsgrad des Filters 1. Die angegebenen Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 sind grundsätzlich auch von dem Maß der Viskosität des Hydraulikmediums abhängig. Da die Viskosität des dem Filter 1 zugeführten verschmutzten Hydraulikmediums aufgrund der Verschmutzungen von der Viskosität des die Drossel 2 durchsetzenden gereinigten Hydraulikmediums abweichen kann, ist an sich jeder Quotient der Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 auch von der Differenz zwischen der Viskosität des verschmutzten Hydraulikmediums und der Viskosität des gereinigten Hydraulikmediums abhängig. Jedoch besitzen übliche Filter, wie sie in Hydrauliksystemen eingesetzt werden, außerordentlich große Strömungsquerschnitte, so daß die Strömungsgeschwindigkeit des Hydraulikmediums innerhalb des Filtermediums außerordentlich gering ist. Damit kann der Einfluß einer Änderung der Viskosität des Hydraulikmediums bei dessen Reinigung vernachlässigt werden. Es ist also zulässig, die bei der Reinigung des Hydraulik-

mediums auftretende Viskositätsänderung bei der Quotientenbildung aus den Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 zu vernachlässigen.

Ein besonderer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß die Drossel 2 nur von sauberem Hydraulikmedium durchströmt wird. Damit können sich an der Drossel 2 keinerlei unerwünschte Ablagerungen bilden, die den Drosselwiderstand der Drossel 2 verändern würden. Außerdem können an der Drossel 2 keinerlei Viskositätschwankungen aufgrund unterschiedlicher Schmutzfracht des Hydraulikmediums auftreten. Wegen der relativ hohen Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Drossel 2 könnten derartige Viskositätsänderungen zu einer deutlichen Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit führen.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform der Erfindung ist der Filter 1 mit seinem Gehäuse im Verlauf einer Leitung 3 angeordnet, in der in Strömungsrichtung dicht hinter dem Filter 1 die Drossel 2 angeordnet ist. Unmittelbar vor und hinter dem Filter 1 zweigen von der Leitung 3 kapillarartige Druckmeßleitungen 4 und 5 ab; eine weitere Druckmeßleitung 6 ist dicht hinter der Drossel 2 an die Leitung 3 angeschlossen.

Die Druckmeßleitungen 4 bis 6 sind mit dem Innenraum eines Gehäuses 7 verbunden, welches mittels der Membranen 11 und 12 in drei Kammern 8 bis 10 unterteilt ist. Dabei ist jede der Druckmeßleitungen 4 bis 6 in der dargestellten Weise mit einer separaten Kammer 8 bis 10 verbunden.

Die Verbindung der Druckmeßleitungen 4 bis 6 mit den Kammern 8 bis 10 des Gehäuses 7 ist derart ausgebildet, daß die Membran 11 zwischen den Kammern 8 und 9 von der Druckdifferenz Δp_1 zwischen Eingang und Ausgang des Filters 1 beaufschlagt wird. In ähnlicher Weise wird die Membran 12 zwischen den Kammern 9 und 10 des Gehäuses 7 von der Druckdifferenz Δp_2 beaufschlagt, welche zwischen Eingangs- und Ausgangsseite der Drossel 2 auftritt, wobei der Druck an der Eingangsseite der Drossel 2 identisch ist mit dem Druck am Ausgang des Filters 1.

Auf den Membranen 11 und 12 sind Dehnungsmeßstreifen 13 und 14 angeordnet, deren elektrischer Widerstand sich entsprechend dem Maß der Dehnung der Dehnungsmeßstreifen 13 und 14 verändert. Dementsprechend stellt der elektrische Widerstand des Dehnungsmeßstreifens 13 ein Maß für die Druckdifferenz Δp_1 dar, während der elektrische Widerstand des Dehnungsmeßstreifens 14 die Druckdifferenz Δp_2 wieder gibt.

Die Dehnungsmeßstreifen 13 und 14 sind über elektrische Leitungen 15, welche durch ein druckdichtes Durchgangsteil 16 hindurchgeführt sind, mit einer nicht dargestellten Meßanzeige verbunden, welche ein dem Quotienten der Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 entsprechendes Signal erzeugt bzw. anzeigt.

Bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform verursachen also die Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 eine mehr oder weniger starke Verformung der Membranen 11 und 12 und damit eine mehr oder weniger starke Veränderung der elektrischen Eigenschaften der Dehnungsmeßstreifen 13 und 14. Auf diese Weise können die genannten Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 direkt gemessen werden.

Grundsätzlich ist es auch möglich, vor und hinter dem Filter 1 sowie hinter der Drossel 2 die jeweiligen statischen Drücke in der Leitung 3 zu messen und sodann, beispielsweise mittels eines Rechners, die genannten Druckdifferenzen und deren Quotienten zu er-

mitteln.

Die Eichung der Meßanordnung kann jeweils in der Weise, insbesondere automatisch, erfolgen, daß dem unmittelbar nach Erneuerung des Filters 1 ermittelten Wert des Quotienten der Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 5 die Anzeige "Filter sauber" bzw. "Verschmutzungsgrad Null" zugeordnet wird. Sobald dann aufgrund von Verschmutzungen des Filters 1 der Wert des Quotienten um einen vorgebbaren Faktor vom Anfangswert nach Erneuerung des Filters 1 abweicht, erfolgt die Anzeige 10 "Filter auswechseln", wobei gegebenenfalls das hydraulische System auch automatisch stillgelegt werden kann. Im übrigen kann natürlich auch die zunehmende Verschmutzung vor Erreichen des maximal zulässigen Verschmutzungsgrades angezeigt werden.

Vorteilhafterweise ist es ohne weiteres möglich, die erfundungsgemäße Anordnung so auszubilden, daß ein hydraulisches System ohne Verschmutzungsanzeige für das Filter 1 leicht nachgerüstet werden kann. Dies wird wiederum anhand der Fig. 2 erläutert.

Öblicherweise ist das Gehäuse des Filters 1 über Flansche mit den angeschlossenen Zweigen der Leitung 3 verbunden. Zwischen die Flansche der Leitung 3 einerseits und des Gehäuses des Filters 1 andererseits können Zwischenstücke oder -flansche eingesetzt werden, an 25 denen die Druckmeßleitungen 4 bis 6 angeordnet sind bzw. in denen die Drossel 2 untergebracht ist.

Die Anzeige des Verschmutzungsgrades des Filters 1 stellt in der Regel auch eine Anzeige für die Gesamtbelaustung des Systems dar, mit dem die Leitung 3 verbunden ist. Wenn beispielsweise der Filter 1 als Ölfilter einer Antriebsmaschine angeordnet ist, so kann aus der Anzeige des Verschmutzungsgrades dieses Filters auch ein Signal abgeleitet werden, welches bei der Anzeige zweckmäßiger Inspektionsintervalle für die Antriebsmaschine ausgewertet wird.

Die Erfundung ist nicht auf Filter für hydraulische bzw. weitestgehend inkompressible Medien beschränkt, sondern kann auch für gasförmige, kompressible Fluide verwendet werden.

Soweit die durch das Filter 1 und die Drossel 2 geführten Medien eine stark temperaturabhängige Viskosität aufweisen, kann gegebenenfalls vorgesehen sein, daß die Druckdifferenzen Δp_1 und Δp_2 nur innerhalb eines vorgegebenen Betriebstemperaturbereiches ermittelt bzw. ausgewertet werden. Damit kann vernachlässigt werden, daß starke Viskositätsänderungen das Meßergebnis zu verfälschen vermögen.

Patentansprüche

50

1. Vorrichtung zur Überwachung des Verschmutzungsgrades eines Filters für Fluide, insbesondere für Hydraulikmedien, mit einer in Reihe zu dem Filter im Fluidstrom angeordneten Drossel und mit einer Auswertevorrichtung, welche auf die Druckdifferenzen zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Filters sowie zwischen Eingangs- und Ausgangsseite der Drossel reagiert und ein mit einem Quotienten der beiden Druckdifferenzen korreliertes Signal erzeugt und anzeigt, dadurch gekennzeichnet, daß die Drossel (2) in Strömungsrichtung des Fluides hinter dem Filter (1) angeordnet ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Drosselwiderstand des Strömungsweges zwischen dem Filter (1) und der Drossel (2) vernachlässigbar bzw. gering ist im Vergleich zum Drosselwiderstand der Drossel (2) bzw. des

Filters (1).

3. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Filter (1) und die Drossel (2) nahe benachbart angeordnet sind und/oder die zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Filters (1) auftretende Druckdifferenz (Δp_1) zwischen Orten (Meßstellen, Meßanschlüssen) ermittelbar ist, die dem Filter (1) nahe benachbart sind.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Drosselwiderstand der Drossel (2) etwa 10% bis 20% des Drosselwiderstandes des Filters (1) in sauberem Zustand beträgt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Auswertevorrichtung ein Signal zum Filterwechsel erzeugt, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung den das Filter (1) durchsetzenden Fluidstrom abschaltet, sobald der Istwert des Quotienten in einem vorgebbaren Verhältnis zum Anfangswert des Quotienten unmittelbar nach der letzten Erneuerung des Filters (1) steht.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Auswertevorrichtung nach Eingang bzw. Erhalt eines bei Erneuerung des Filters (1) erzeugten bzw. erzeugbaren Signales eine automatische Eichung ausführt, derart, daß der unmittelbar bzw. kurz nach der Erneuerung des Filters (1) ermittelte Anfangswert des Quotienten als Signal für ein sauberes Filter bzw. einen verschwindenden Verschmutzungsgrad auswertbar bzw. anzeigbar ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß vor der Eingangsseite bzw. hinter der Ausgangsseite des Filters (1) vom Fluidstrom durchsetzte Zwischenstücke bzw. -flansche angeordnet sind, an denen die Drossel (2) und/oder Elemente (4 bis 6) einer Druckmeßvorrichtung (4 bis 15) angeordnet sind.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Druckdifferenzen zwischen Eingangs- und Ausgangsseite des Filters (1) bzw. zwischen Eingangs- und Ausgangsseite der Drossel (2) auf mindestens eine Membran (11, 12) einwirken und eine zum Wert der jeweiligen Druckdifferenz analoge Verformung der jeweiligen Membran (11, 12) verursachen, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Membranen (11, 12) innerhalb eines Gehäuses (7) angeordnet sind und dasselbe in drei Kammern (8 bis 10) unterteilen, wobei die erste Kammer (8) mittels einer Leitung (4) mit der Eingangsseite des Filters (1), die zweite Kammer (9) über eine Leitung (5) mit der Ausgangsseite des Filters (1) vor der Eingangsseite der Drossel (2) und die dritte Kammer (10) über eine Leitung (6) mit der Ausgangsseite der Drossel (2) kommuniziert.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines die Verformung der jeweiligen Membran (11, 12) wiedergebenden elektrischen Signales auf der jeweiligen Membran (11, 12) Dehnungsmeßstreifen (13, 14) angeordnet sind.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —

Fig. 1

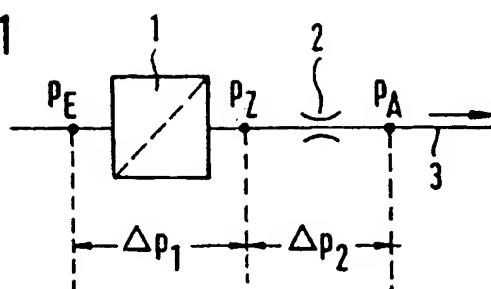


Fig. 2

